Natural Resources Canada | Ressources naturelles Canada

TRANSFORMING THE FUTURE:

MOVING TOWARD FUEL CELL-POWERED FLEETS IN CANADIAN URBAN TRANSIT SYSTEMS

STUDY SUMMARY
JANUARY 2005

BC Transit

MARCON-DDM

Canada

106-04829/

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was commissioned and funded by the Government of Canada through the Canadian Transportation Fuel Cell Alliance, a program administered by Natural Resources Canada. Contract management was provided by BC Transit. The study was conducted by MARCON-DDM HIT of Montreal, Canada.

This study would not have been possible without the extraordinary cooperation of Canadian urban transit system management teams, as well as the expert contribution of numerous technology providers, academics, bus manufacturers, demonstration site managers and industry experts.

Thank you to all participants for your time and support.

Note: The detailed report can be accessed at:
http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/ctfca/Publications_e.html.

M38-24/1-2005
0-662-68749-3

This report was prepared by MARCON-DDM HIT, an independent management consulting firm. The views, conclusions and recommendations expressed herein are those of the authors and do not necessarily represent the views of BC Transit, Natural Resources Canada, or the Government of Canada.

THE FUTURE

The world is on the verge of a dramatic change in the energy economy toward hydrogen. At the centre of this transformation is the hydrogen fuel cell, the most efficient way to turn a variety of fuels into useable power with greatly reduced emissions.

In Canada, our urban transit systems could lead the way in creating the future with transit fleets that produce no smog and emit no greenhouse gases.

Hydrogen Fuel Cell-Powered Transit Buses:

- *No smog-creating emissions*
- *No greenhouse gas emissions*
- *Quieter than conventional buses*
- *Can be twice as efficient as internal combustion engines*
- *Cheaper to maintain and operate than internal combustion engine vehicles*
- *Multiple fuel feedstocks, including renewables*

TABLE OF CONTENTS

BACKGROUND 2

METHODOLOGY 4

OBJECTIVES OF STUDY 5

KEY FINDINGS 6

KEY CHALLENGES 9

CONCLUSION 10

RECOMMENDATIONS 12

APPENDIX I: HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGY 15

APPENDIX II: BUS LIFECYCLE COSTS 17

APPENDIX III: TRANSITION PROCESS TIMETABLE 18

BACKGROUND

In the year 2000, Canada, as part of a world community concerned about the environmental, social and economic consequences of increasing greenhouse gas emissions, announced its Action Plan 2000 on Climate Change.

As part of the plan, the Government of Canada committed to work with industry and other levels of government to develop and demonstrate hydrogen-based technologies that would enable Canada to reduce greenhouse gas emissions while enhancing its innovative economy. A major part of this initiative is a focus on hydrogen applications in transportation.

In June 2001, Ottawa announced the creation of the Canadian Transportation Fuel Cell Alliance (CTFCA), a program to support the demonstration and evaluation of different processes for the production and delivery of hydrogen to fuel cell vehicles.

Urban transit systems, currently operating bus fleets powered almost exclusively by diesel, are a natural early adopter of hydrogen fuel cell technology that can reduce greenhouse gas emissions and urban air pollutants to zero.

Canadian urban transit systems are an ideal sector to engage because:

- There are over 2.42 billion riders per year;
- The number of vehicles – approximately 12,000 across Canada – is a sizeable market;
- UTSs consume over 360 million litres of diesel and 17 million cubic meters of natural gas per year;
- The transit application is visible to a public sympathetic to improving air quality;
- Transit properties have a centralized infrastructure that can be adapted to hydrogen; and
- Urban transit applications have global market relevance.

The societal benefits of hydrogen fuel cell-powered transit buses include:

- The health-related impacts of deploying zero-emission transport in inner city and other urban neighbourhoods;
- Significant reductions in noise pollution levels by replacing internal combustion engines with electric drive systems;
- Reduction of greenhouse gas emissions to zero; and
- The potential use of renewable sources of energy, e.g., solar, wind, geothermal and hydropower, to produce hydrogen fuel.

In 2003,The CTFCA decided to study the issues that face Canada's urban transit systems in making the transition from the diesel-powered fleets of today to the hydrogen fuel cell-powered fleets of the future.

The need for this study was identified through the CTFCA's Heavy Duty Vehicle Demonstration Working Group, comprised of representatives from transit operations, bus manufacturers, equipment and technology providers, fuel suppliers and governments.

The group noted that, in addition to providing information to urban transit systems, the study would provide a knowledge base for industry to assist them in targeting business opportunities with regard to hydrogen fuel cell-powered transit systems.

In short, Canada's urban transit systems represent:

- An attractive market for the emerging fuel cell industry as it commercializes product;
- An opportunity for governments to meet a significant portion of their green house gas reduction commitments; and
- An opportunity for Canada to be a world leader in the transition to fuel cell-powered transportation.

METHODOLOGY

The findings presented in this report were derived from information gathered through visits to 16 urban transit systems across the country, including environmentally sensitive sites. As well, personal and telephone interviews were conducted with:

- bus manufacturers;
- hydrogen technology suppliers;
- technical training institutions;
- hydrogen industry experts;
- codes and standards developers;
- government agencies both in Canada and abroad; and
- fuel cell bus demonstration projects.

The findings were supplemented with secondary data obtained from a variety of sources, including industry associations, government agencies and industry analysts.

For the detailed methodology, see Appendix 1 of the detailed report, which can be accessed at: **http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/ctfca/Publications_e.html**.

OBJECTIVES OF STUDY

This study was conducted to determine the challenges and the way forward for Canadian urban transit systems to make the transition to fuel cell-powered bus[1] fleets.

Specifically, it examines the following areas:

- The development of transit bus fuel cell technology in Canada and abroad;
- Canadian regulatory issues at all levels of government, in concert with the U.S. regulatory environment;
- Risk analysis compared to other technologies used in transit operations;
- Specifications for fuel cell-powered transit buses;
- The impact on operations and maintenance facilities;
- The impact on maintenance practices;
- The impact on operations and training budgets;
- Fuelling infrastructure and technology;
- Supply chain impacts; and
- The need for external communications.

[1] *"Fuel cell-powered bus" defines all types of buses powered in whole or in part by a fuel cell on board the bus. The two major categories of fuel cell-powered buses discussed in this report are the fuel cell bus (a bus powered by a fuel cell only) and the fuel cell hybrid bus (a bus powered by a fuel cell and one or more other power sources).*

KEY FINDINGS

The transition to fuel cell-powered transit fleets involves changes to buses, transit facilities, fuelling infrastructure and the regulatory environment. Major transition costs for urban transit systems (UTSs) include the capital cost of fuel cell-powered buses and the conversion of existing facilities or the building of new ones. Following is a summary of key findings on the implications of making the transition to fuel cell-powered fleets:

FUEL CELL-POWERED BUSES

- Technology suppliers and bus manufacturers do not expect fuel cell-powered buses to be commercially available before 2015.
- In the transition period, it is anticipated that fuel cell-powered transit bus demonstrations will increase in size and scope.
- The type of fuel cell used for transit buses is expected to be the direct hydrogen proton exchange membrane (PEM) fuel cell.
- On-board hydrogen fuel will be stored in high-pressure cylinders at 350 bar or higher.
- Commercial fuel cell-powered buses are expected to equal or surpass existing operational requirements for diesel buses.
- The reliability of commercially available fuel cell-powered buses is expected to be equal to or better than conventional diesel buses.
- Fuel cell hybrid systems – combining a hydrogen fuel cell of smaller capacity, a system that recuperates energy from the brakes, and an efficient electric power storage system – are a promising technological development that reduces the consumption of hydrogen without increasing the cost of the power system.
- Fuel cell hybrid buses currently being developed may enter the transit marketplace first.

URBAN TRANSIT SYSTEMS

- The planning of routes and bus allocations will be the same for fuel cell-powered buses as for diesel buses; no additional spare buses will be required.
- Maintenance operations of fuel cell-powered buses will differ substantially from current practices in areas such as power plant maintenance but will remain identical for the majority of current procedures relating to body, frame, suspension, chassis, wheels and brakes.
- The skills base required to maintain fuel cell-powered buses will not differ significantly from that currently in place, but the mix of skills will change in favour of more electrical and electronics training. By 2015, it is anticipated that UTS workforce demographics will have changed to reflect the skill set required for fuel cell technologies.
- UTSs will need to add additional tools and equipment to their maintenance facilities (e.g., hydrogen sensors and fuel cell diagnostics) and replace some current tools with specialized tools (e.g., non-sparking hand tools).

- The degree of change required for existing facilities will vary. If a garage currently services a compressed natural gas (CNG) bus fleet, changes will be minimal. If a garage services a diesel fleet, changes to safety, ventilation, lighting, monitoring and fire suppression systems will be required. Changes may also be required to the facility's electrical system.
- A fuel cell-powered bus fleet will use the same amount of garage and maintenance space as a diesel-powered fleet.
- All UTS personnel will require hydrogen fuel safety training at the same level as their current safety training for diesel fuel.
- It is anticipated that individual UTSs will require a period of approximately three years to prepare for the transition to commercial fuel cell-powered buses.
- Technology and transit experts report that the use of hydrogen fuel in internal combustion engines may represent an intermediate phase prior to the introduction of fuel cell-powered buses. This could provide an opportunity for UTSs to transition to hydrogen fuelling prior to adopting fuel cell-powered buses.

FUELLING INFRASTRUCTURE

- While hydrogen is currently classified as a hazardous material, its emerging use as a fuel has created a demand for it to be classified as a fuel. This reclassification is expected to occur before fuel cell-powered buses are marketed.
- The handling and storage of hydrogen in the UTS facilities will involve procedures similar to practices for fuels like CNG.
- UTSs may have sites that are not suited to on-site hydrogen production, either because of their location or the lack of space.
- The choice of a hydrogen supply strategy for a UTS will depend on several factors but particularly on the cost of the feedstock – electricity in the case of water electrolysis and natural gas in the case of methane reforming.
- Hydrogen fuelling procedures will not change noticeably from diesel fuelling procedures, nor will additional personnel be required.

REGULATORY ENVIRONMENT

- In the absence of standards set specifically for fuel cell-powered buses or components thereof, fuel cell-powered vehicles currently on the road are permitted to use CNG bus standards as a reference.
- It is expected that specific codes and standards for hydrogen and fuel cells will be available prior to the commercial availability of fuel cell-powered buses.
- A major effort is underway in Canada, the United States and internationally to develop a sound scientific basis for standards development. Preliminary results indicate that acceptable clearance distance standards will be developed within the next few years for fuelling stations and on-site storage – in time for significant growth of the fuel cell-powered bus option in UTSs.

COSTS

Buses

- Fuel cell-powered buses are expected to cost approximately $1 million[2] when they make their market entry in 2015.
- The purchase cost of fuel cell-powered buses will be over two-thirds more than their diesel counterparts.
- The purchase cost of fuel cell buses will be approximately the same as that of fuel cell hybrid buses.
- The lifecycle cost of a fuel cell bus will be comparable to that of its diesel counterpart, while a fuel cell hybrid bus will cost approximately 10% less.
- The annual maintenance costs of fuel cell buses and fuel cell hybrid buses will be approximately 15% and 21% less expensive, respectively, than those of diesel urban transit buses.

Fuel

- Scenarios comparing the cost of fuels indicate that hydrogen technologies are expected to be more price-competitive than diesel, particularly in the case of fuel cell hybrid buses.
- Hydrogen fuel prices are sensitive to the price of feedstock, e.g., methanol, natural gas, electricity.
- On-site reforming of natural gas is likely the most economical source of hydrogen for UTSs where the site can accommodate the equipment required. In hydroelectric-rich provinces like Québec, Manitoba and British Columbia, electrolysis will be price-competitive.

Facilities & Operations

- If existing facilities have been built to the standards for diesel bus operation, the incremental cost of conversion to hydrogen standards will range from $2.1 million to $4.2 million for a 250-bus depot (depending on the configuration of the building). This compares to an incremental cost (i.e., the cost exceeding that of building diesel bus facilities) of $1.4 to $2.8 million to build new facilities for the same needs.
- Facility maintenance operating costs are estimated to increase by $2.70/m^2/annum to accommodate the maintenance of hydrogen-related safety equipment such as sensors and heating and ventilation systems. This amounts to $250 per bus per year (less than 0.6% of total maintenance costs).
- Retraining of personnel can be undertaken within the regular training budget.
- The cost of developing and implementing new procedures that are hydrogen-compatible can be accommodated within the regular operational budget.
- The cost of communications related to the introduction of fuel-cell technology can be accommodated within the regular public relations budget.

[2] *All currency figures presented in this report are in Canadian dollars. Dollar figures quoted for 2015 are expressed in 2015 dollars.*

KEY CHALLENGES

Numerous technical, economic, political and administrative challenges have to be resolved before fuel cell-powered buses can be made commercially available and before urban transit systems (UTSs) can begin to acquire fuel cell-powered buses. All stakeholders will need to address these challenges as soon as possible in this pre-transition phase if Canadian UTSs are going to make an accelerated transition to fuel-cell powered fleets.

TECHNICAL CHALLENGES

- Ensuring that the performance parameters and reliability of current diesel buses are equalled or bettered;
- Adapting current demonstration-type technologies to the standards required by transit operators;
- Improving the efficiency of electrolyzers as well as their capacity to deliver larger quantities of hydrogen at a competitive cost;
- Reducing the size of on-site reformer units while adding carbon sequestration to the process;
- Developing a competitive supply chain for UTSs wishing to source their fuel off-site;
- Introducing large capacity, on-site reservoirs of high-pressure gaseous hydrogen to the market at a competitive price;
- Finalizing hydrogen-specific standards and codes; and
- Developing training programs for technical personnel.

ECONOMIC CHALLENGES

- Decreasing the current price of fuel cell systems[3] by 90%;
- Decreasing the cost of delivering hydrogen to transit buses by reducing the capital costs of hydrogen production systems; and
- For UTSs, addressing a shift in cost from operating to capital by developing new partnership agreements with fund providers.

PUBLIC POLICY CHALLENGES

- Achieving multi-level government cooperation in support of UTSs as a means of realizing collective environmental goals; and
- Finding and securing the financial resources to support the introduction of hydrogen technologies in UTSs over a period of several years.

ADMINISTRATIVE CHALLENGES

- Preparing UTSs, in all aspects of their operations, for the transition to fuel cell-powered buses;
- Securing the cooperation of key stakeholders; and
- Ensuring effective communication with all stakeholders.

[3] *In addition to fuel cell modules, fuel cell systems include components that form the balance of the plant. These are: the interface module and piping network, the inverter for converting DC into a 3-phase alternating current, the fuel cell control device, the air supply sub-system and the cooling sub-system.*

CONCLUSION

Fuel cell-powered buses, expected to be commercially available by 2015, are a viable technology for use in Canada's urban transit fleets.

Fuel cell-powered buses are expected to be able to carry out urban transit duties with performance and reliability that are comparable to or better than their diesel counterparts. Although the acquisition cost of a fuel cell-powered bus will be more than that of a diesel-powered bus, the lifecycle cost, including the cost of acquisition, maintenance and fuel, will be comparable.

Closing the gap between the current reality and what can be possible in 2015 is feasible only if all stakeholders focus on the opportunity that presents itself at this juncture in Canadian transit history.

For the fuel cell and related equipment industry, the Canadian transit fleet represents a critical target market and an ideal first large-scale market segment, as well as a stepping stone to other markets.

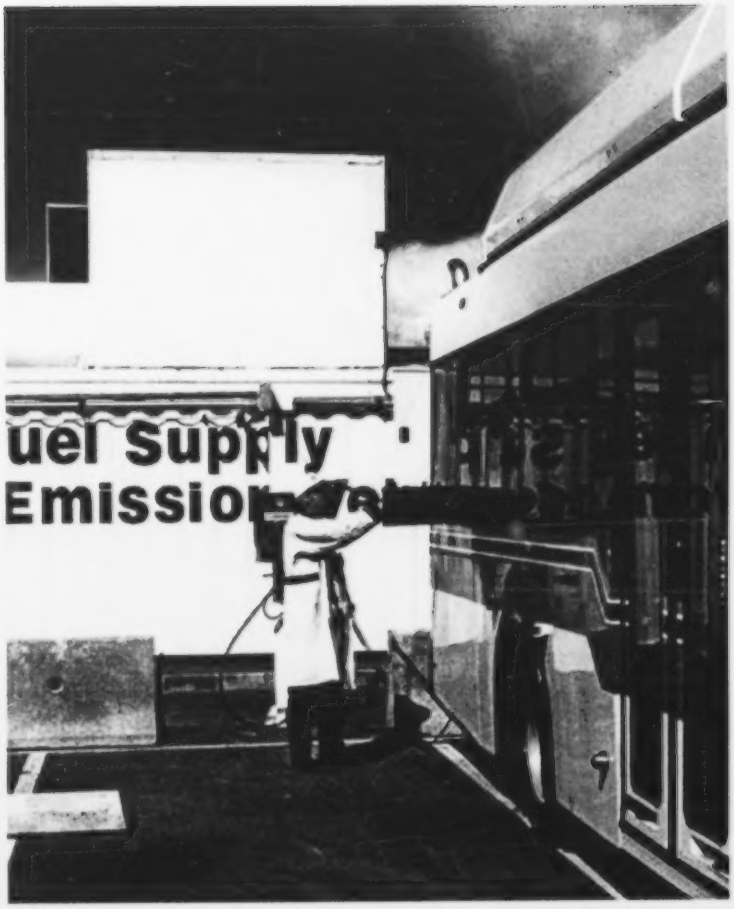
A crucial part of closing the gap in the next ten years will be the support of government, at all levels, in accelerating the introduction of fuel cell-powered transit vehicles and acting as a catalyst for increased cooperation among stakeholders.

The introduction of fuel cell-powered buses into transit fleets cannot be achieved without increased government intervention, particularly with regard to transition costs. While fuel cell-powered buses are expected to be cost-competitive on a lifecycle basis, the cost of acquisition (anticipated to exceed that of a diesel bus by two-thirds) is more than most urban transit systems can afford. As well, the one-time cost of adapting facilities, tooling, and equipment is outside the normal scope of transit system budgets. While this transition is feasible, it will require new arrangements with funding partners to ensure that additional support for capital costs is available.[4]

[4] *In Canada, there is no federal funding support for the purchase of transit buses. By contrast, in the U.S., the Department of Transportation's Federal Transit Administration (FTA) can fund up to 80% of the capital cost of transit buses. In Canada, individual UTSs fund new bus purchases through their funding partners, i.e., the province and/or local municipal entities. (Source: Manitoba Energy Development Initiative)*

In the final analysis, it will be governments, with their financial incentives, policies, legislation, and regulatory standards that will be the most critical players in accelerating the transition to fuel cell-powered bus fleets in Canada's urban transit systems.

If this goal is achieved in a timely manner, Canada could become a world leader and innovator in sustainable energy technology and expertise. In turn, Canadian stakeholders in the hydrogen and fuel cell industry would have a sustainable competitive advantage in the global marketplace.



RECOMMENDATIONS

A significant collaborative effort involving all stakeholder groups is imperative if there is to be a successful transition to fuel cell-powered bus fleets in Canadian UTSs.

All stakeholders – UTSs, bus manufacturers, fuel cell system suppliers, fuel storage system suppliers, fuel and fuelling station providers, training institutions, and governments – have a critical role to play. Following is a list of recommended activities by stakeholder group:

FOR THE CANADIAN UTS INDUSTRY

It will be important for UTSs to work collaboratively in the development of fuel cell-powered transit bus technology. In advance of fuel cell-powered buses being commercially available, there are a number of activities UTSs can undertake to ensure that fuel cell technology will meet their operational requirements. These are:

1. Clearly determine current operations and maintenance costs to use as a baseline when considering a transition to fuel cell technology;
2. Determine the current skills profile of their maintenance workforce to use when planning for the changes in competencies required to maintain a fuel cell-powered bus fleet;
3. When hydrogen codes and standards are available, examine the changes that will be required to existing facilities to accommodate and operate fuel cell-powered buses;
4. Within the context of individual UTS strategic plans, determine if the transition to fuel cell technology needs to be addressed by building new facilities at a green-field site; if so, identify potential sites within the service area;
5. Assess the impact of gaseous hydrogen use on current occupational health and safety programs in the UTS environment;
6. Review emergency response plans to adapt them to hydrogen;
7. Identify opportunities for shared fuelling facilities, i.e., small UTSs and city fleets;
8. Enlist the Canadian Urban Transit Association (CUTA) to be a clearing house for the sharing of information and experience related to hydrogen and fuel cell-powered buses;
9. Using CUTA as a reference base, establish a centre of knowledge and expertise for UTSs with regard to alternative fuel technologies and particularly hydrogen fuel cell technology developments;
10. Keep UTS governing boards informed of fuel cell technology developments relevant to urban transit;
11. Sponsor the development of a transition cost model that UTSs can readily use to assess their specific situation when considering fuel cell-powered buses; and
12. Continue participation in cost-shared demonstration programs.

FOR BUS MANUFACTURERS

It is recommended that bus manufacturers take a more proactive role in the technical integration of fuel cells in urban transit buses. In particular, it is recommended that they:

13. Work in collaboration with fuel cell system suppliers;
14. Develop bus design guidelines for fuel cell system suppliers; and

15. Continue participation in cost-shared demonstration programs.

FOR FUEL CELL SYSTEM SUPPLIERS

In addition to resolving technical challenges and focusing on cost reduction, it is recommended that fuel cell system suppliers:

16. Cooperate with all industry stakeholders to advance the anticipated date of market readiness;
17. Ensure continued cooperation with bus manufacturers to facilitate the smooth integration of fuel cells in new bus design and optimal manufacturability;
18. Develop field training programs for UTS maintenance and operations personnel;
19. Consider developing "stack rebuilding" services, procedures and pricing;
20. Continue participation in cost-shared demonstration programs;
21. Consider cross-application designs to standardize parts requirements; and
22. Study the possibility of balance-of-plant standardization throughout the fuel cell industry in an effort to simplify maintenance for UTSs and decrease costs for fuel cell suppliers.

FOR HYDROGEN FUEL STORAGE SYSTEM SUPPLIERS

The major challenge facing storage system suppliers is reducing the weight of on-board storage cylinders. It is recommended that they also:

23. Continue development of 700-bar storage and dispensing systems;
24. Develop larger units for fixed on-site storage and transportable systems for hydrogen fuel suppliers;
25. Work with bus manufacturers on the design of on-board storage; and
26. Continue participation in cost-shared demonstration programs.

FOR HYDROGEN FUEL AND FUELLING SYSTEM PROVIDERS

In addition to resolving technical challenges, it is recommended that fuel and fuelling system providers:

27. Evaluate future demand for hydrogen in urban transit applications, and plan for the expansion of centralized production units to meet the anticipated increase in demand from UTSs;
28. Identify opportunities for pipeline delivery and additional by-product recovery;
29. Identify opportunities for shared fuelling facilities (i.e., small UTSs and city fleets);
30. Provide information to the Canadian Association of Motive Power Educators (CAMPE) on the integration of hydrogen-related training into existing apprenticeship and licensing programs;
31. Continue participation in the development of hydrogen-specific standards and codes;
32. Continue participation in cost-shared demonstration programs; and
33. Acquire, review and share performance data from demonstration projects.

FOR TRAINING INSTITUTIONS

Training institutions will be faced with many tasks in the coming years. It is recommended that they:

34. Coordinate with provincial and inter-provincial apprenticeship programs regarding hydrogen and fuel cell-related trades training; for example, through the Canadian Association of Motive Power Educators (CAMPE);

35. Use a centralized training and certification body for hydrogen and fuel cell-related training and certification;

36. Integrate hydrogen and fuel cell-related training into existing apprenticeship and licensing programs rather than creating new training programs;

37. Revise hazardous material technician training under provincial fire marshal programs;

38. Cooperate with the United States in creating standardized hydrogen-related fire safety programs throughout North America; and

39. Prepare hydrogen and fuel cell-related emergency response training.

FOR GOVERNMENTS

Governments have a crucial role to play in the future of both the fuel cell and urban transit industries. It is recommended that they:

40. Consider changing or enacting legislation to encourage commercial application of fuel cell technologies;

41. Continue to develop appropriate funding strategies to support the transition to hydrogen fuel cell–powered applications through:
    - incentives for bus acquisition,
    - incentives for facilities building or conversion (including fuelling stations), and
    - incentives for education to facilitate adoption of hydrogen and fuel cell technologies;

42. Continue participation in cost-shared demonstration programs;

43. Complete the assessment of the overall cost-benefit comparison of fuel cell-powered buses to diesel buses by taking into account social costs such as air pollution, noise, and greenhouse gas emissions;

44. Develop regulations and processes regarding fuel cell-powered bus registration;

45. Continue to develop regulatory standards for vehicles, operating facilities and fuelling systems based on hydrogen and fuel-cell technology;

46. Survey health and safety regulations in the various provinces and territories to determine the implications of introducing hydrogen in the workplace;

47. Increase the quantity and level of information for various publics in order to improve their awareness, e.g., citizens, media, insurance companies and labour groups;

48. Gauge Canadian public support for the use of fuel cell technology in urban transit systems and continue monitoring over time;

49. Articulate a national strategy for providing incentives to accelerate the commercialization of fuel cell-powered heavy duty vehicles in Canada; and

50. Target environmentally sensitive areas and smaller UTSs with clear and definitive policies to encourage the early adoption of fuel cell-powered bus fleets.

APPENDIX I

FUEL CELL TECHNOLOGY

HOW A FUEL CELL WORKS

The following is a non-technical explanation of how a PEM fuel cell works.

THE PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

The PEMFC operates at a relatively low temperature, which means it warms up quickly and does not require expensive containment structures. Platinum is typically used as a catalyst in this type of fuel cell. Constant improvements in engineering and material used in the PEMFC have increased the power density to a level where a device about the size of a small piece of luggage can power a car. Cyclibility adds to the advantages of PEMFCs. They are the leading fuel cell technology for use in transportation applications

HOW A FUEL CELL WORKS

A fuel cell is a device that converts chemical energy into electrical energy. Hydrogen (which can be obtained from a variety of carbon-based fuels, including methanol, natural gas and petroleum or renewables), is combined with oxygen (obtained from the air) with a fuel cell to electrochemically produce electricity, water and heat.

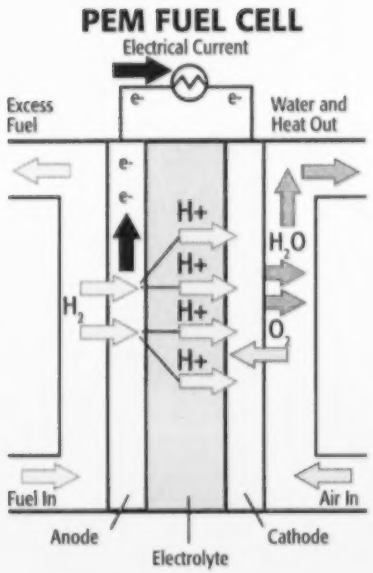
The heart of the fuel cell generally consists of three primary parts: an anode, a cathode and an electrolyte. The electrical current flows from the cathode to the anode. The materials from which the fuel cell is composed determine the way in which the fuel cell produces electricity.

Cells

A basic Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) has hydrogen protons migrating from the anode through the electrolyte to the cathode. A platinum coating at the anode acts as a catalyst and helps to split the hydrogen molecules into positively charged protons and negatively charged electrons. The electrolyte membrane allows only the protons to pass through it to the cathode. The electrons cannot pass through this membrane and as a result, they flow (in the form of an electrical current) through an external circuit to get to the cathode, thus creating electricity. Oxygen supplied at the cathode then combines with the protons to form water.

Stacks

Individual fuel cells are typically combined into a fuel cell "stack". The number of fuel cells in the stack determines the total voltage. The surface area of each cell determines the total current. Multiplying the voltage by the current yields the total electrical power generated, typically measured in kilowatts (kW).



Anode reaction: $H_2O = 2H^+ + 2e^-$

Cathode reaction: $O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$

Balance of Plant

Producing usable electrical power from a fuel cell requires more than just a fuel cell stack. In addition to the stack, a fuel cell system includes many components for functions such as: injecting fuel gases, managing a critical water balance, conditioning the power output and monitoring and controlling all the required system parameters (e.g., temperature and pressure). Without this supportive operating system, the fuel cell stack cannot produce usable power.

APPENDIX II

BUS LIFECYCLE COSTS

Table 1: Bus Lifecycle Costs in 2015 Dollars

LIFECYCLE COST COMPONENTS	250 BUSES OVER 18 YEARS	
Bus Acquisition Cost	Diesel	$150,096,770
	Fuel cell	$250,300,279
	Fuel cell hybrid	$251,403,664
Operations Cost		
Maintenance Cost		
	Diesel	$236,704,005
	Fuel cell	$200,714,570
	Fuel cell hybrid	$186,199,881
Fuel Cost		
(Diesel @ $1.05/l)	Diesel	$155,521,825
(Hydrogen @ $3.47/kg)	Fuel cell	$91,672,162
(Hydrogen @ $3.47/kg)	Fuel cell hybrid	$60,503,627
Total Cost		
	Diesel	**$542,332,600**
	Fuel cell	**$542,687,012**
	Fuel cell hybrid	**$498,107,172**

The lifecycle cost of each bus is therefore:

- Diesel bus $2,169,290
- Fuel cell-powered bus $2,170,748
- Electric/fuel cell hybrid bus $1,992,429

All of the cost forecasts above pertain to a reference case of a 250-bus garage. Costs for larger or smaller facilities will vary accordingly, but will be the same proportionately. No facilities costs are factored into the lifecycle costs.

All costs are expressed in 2015 dollars.

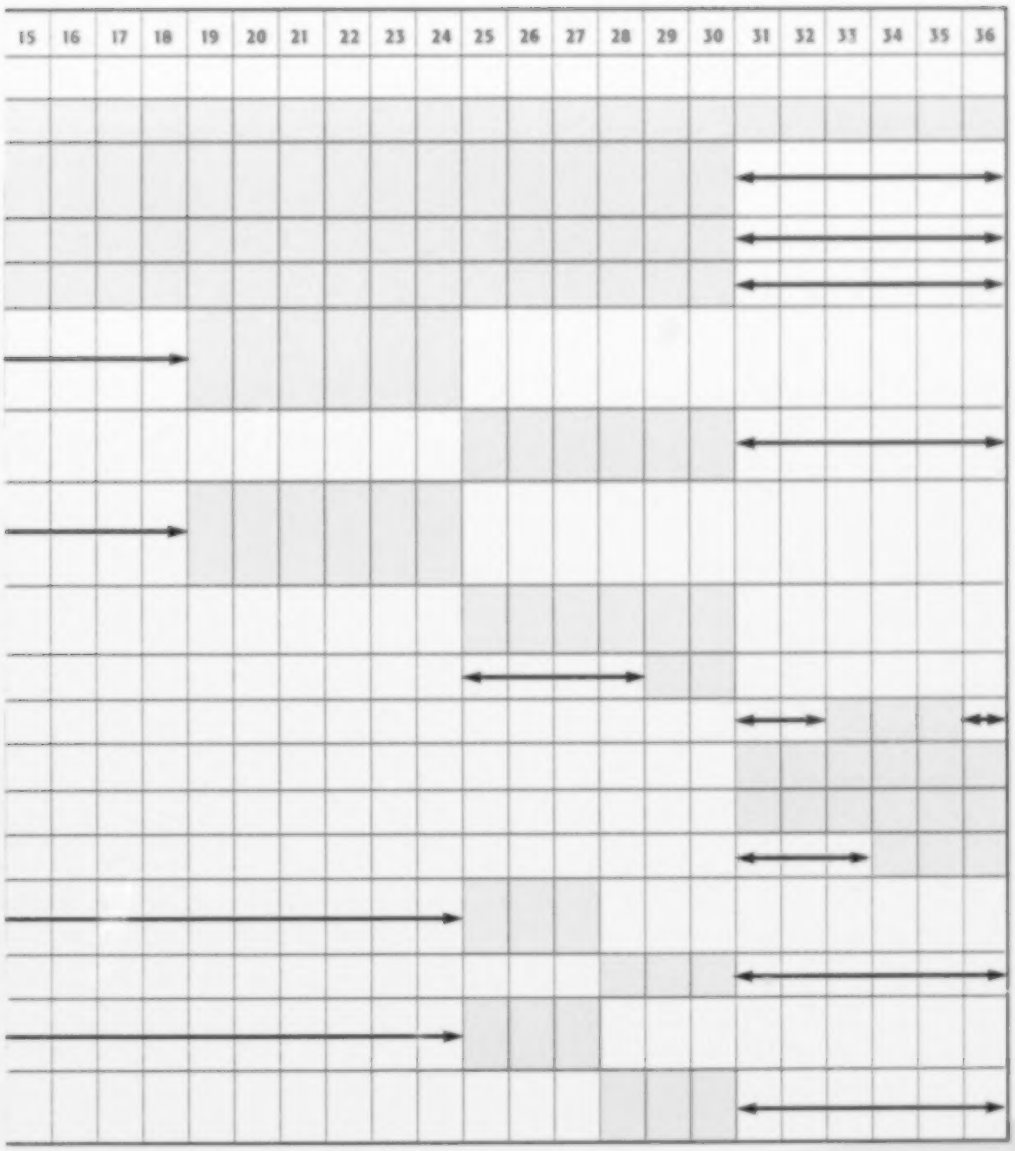
The lifecycle cost of all types of buses is dependent on the cost of the fuel used. In the above table, estimated 2015 average fuel costs are indicated. For a more detailed discussion of possible fuel costs, see the detailed report, Section 5-7: Summary of Costs. The report can be accessed at: **http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/ctfca/Publications_e.html**.

APPENDIX III

TRANSITION PROCESS TIMETABLE

Table 2: Transition Process Timetable

MONTH:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Definition of requirements and project approval process														
Contract award and delivery of buses														
Facilities modification design, contract award and construction														
Fuel station design, contract award and construction														
New facility design, contract award and construction														
Negotiations with bargaining unit representatives, as appropriate, to deal with any dislocation issues affecting employees							←	—	—	—	—	—	—	—
Development of technical training program for employees														
Development and writing of corporate health, safety and environment policy applicable to the hydrogen/fuel cell environment													←	—
Development of health, safety and environment training program														
Training the trainer program														
Training for supervisory and management personnel														
Technician training														
Facility maintenance staff training														
Service staff training														
Internal stakeholder education and communication program development													←	—
Internal stakeholder education and communication														
External stakeholder education and communication program development													←	—
External stakeholder education and communication														



Note: The arrows indicate the flexibility in scheduling the named activity, identifying the earliest start time and the latest completion time. Where there is no arrow preceding or following the activity bar, the activity should not commence or continue later than the time shown. The above time estimates will vary, depending on the unique circumstances of each urban transit system and the readiness to make the change to the hydrogen environment. For smaller systems, the above-stated time periods may be reduced significantly. The sequence of each activity can also vary by transit system. All activities, however, will have to be completed prior to fuel cell-powered buses entering into revenue service. All training programs will include the necessary health, safety and environment components applicable to the level of the person receiving the training.

Ressources naturelles Canada | Natural Resources Canada

TRANSFORMER L'AVENIR :

L'ADOPTION DE VÉHICULES À PILES À COMBUSTIBLE PAR LES SYSTÈMES CANADIENS DE TRANSPORT URBAIN

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE
JANVIER 2005

BC Transit | MARCON-DDM | Canada

REMERCIEMENTS

Le gouvernement du Canada a commandé et financé cette étude par l'intermédiaire de l'Alliance canadienne sur les piles à combustible dans les transports, programme administré par Ressources naturelles Canada. BC Transit a assuré la gestion du contrat. L'étude a été effectuée par MARCON-DDM EMH, Montréal, Canada.

Cette étude n'aurait pas été possible sans la collaboration extraordinaire des équipes de gestionnaires des systèmes canadiens de transport urbain ni sans la contribution experte de fournisseurs de technologies, d'universitaires, de fabricants d'autobus, de gestionnaires de sites de démonstration et d'experts de l'industrie.

Les auteurs remercient tous les participants de leur temps et de leur aide.

Rapport complet :
http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/ctfca/Publications_f.html.

M38-24/1-2005
0-662-68749-3

Ce rapport a été rédigé par MARCON-DDM EMH *inc., une société indépendante de consultation en marketing. Les opinions, les conclusions et les recommandations qu'il contient sont ceux des auteurs et ne représentent pas nécessairement les points de vue de BC Transit, Ressources naturelles Canada et le gouvernement du Canada.*

L'AVENIR

L'économie de l'énergie de la planète est à la veille d'un virage remarquable vers l'hydrogène. Au cœur de cette transformation se trouve la pile à combustible à hydrogène, soit la façon la plus efficace de transformer toute une gamme de combustibles en de l'énergie utilisable tout en réduisant grandement les émissions.

Au Canada, les systèmes de transport urbain pourraient ouvrir la voie de l'avenir en se dotant de véhicules qui ne produisent ni smog, ni gaz à effet de serre (GES).

Autobus urbains à piles à combustible à hydrogène :

- *Pas d'émissions génératrices de smog*
- *Pas d'émissions de GES*
- *Plus silencieux que les autobus classiques*
- *Peut être deux fois plus efficaces que ceux à moteur à combustion interne*
- *Exploitation et entretien plus économiques que ceux à moteur à combustion interne*
- *Nombreux combustibles possibles, entre autres renouvelables*

TABLE DES MATIÈRES

CONTEXTE 2

MÉTHODE ADOPTÉE 4

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 5

PRINCIPALES CONSTATATIONS 6

PRINCIPAUX DÉFIS ET ENJEUX 9

CONCLUSION 10

RECOMMANDATIONS 12

ANNEXE I : LA TECHNOLOGIE DES PILES À COMBUSTIBLE 15

ANNEXE II : COÛTS DES CYCLES DE VIE D'AUTOBUS 17

ANNEXE III : CALENDRIER DE LA TRANSITION 18

CONTEXTE

En l'an 2000, comme membre de la communauté mondiale des pays qui se préoccupent des conséquences environnementales, sociales et économiques de l'accroissement des émissions de GES, le Canada a dévoilé son Plan d'action 2000 sur le changement climatique.

Dans celui-ci, le gouvernement du Canada s'est engagé à collaborer avec l'industrie et avec d'autres ordres de gouvernement pour mettre au point et démontrer des technologies reposant sur l'hydrogène qui permettraient à notre pays de réduire ses émissions de GES et de mettre en valeur les volets innovateurs de son économie. La présente initiative porte en grande partie sur les applications de l'hydrogène dans le domaine des transports.

En juin 2001, Ottawa a annoncé la création de l'Alliance canadienne sur les piles à combustible dans les transports (ACPCT), programme de soutien de la démonstration et de l'évaluation des différents processus de production d'hydrogène et d'alimentation de véhicules à pile à combustible à hydrogène.

Il serait tout naturel que les systèmes de transport urbains (STU), dont les parcs d'autobus fonctionnent presque exclusivement au diesel, soient des adopteurs précoces de la technologie des piles à combustible à hydrogène, qui peut ramener à zéro les émissions de GES et de polluants aériens urbains.

Les STU canadiens constituent un secteur idéal où débuter :

- Ils transportent efficacement un grand nombre de passagers, plus de 2,42 milliards par année.
- Leurs véhicules, environ 12 000 au Canada, constituent un marché de taille.
- Ces véhicules consomment environ 360 millions de litres de diesel et plus de 17 millions de mètres cubes de gaz naturel par année[1].
- Cette application serait évidente pour un public sympathique à l'amélioration de la qualité de l'air.
- Les STU ont des infrastructures centralisées adaptables à l'utilisation d'hydrogène.
- Les applications en transport urbain peuvent être étendues au marché mondial.

Voici certains des bienfaits qu'engendreraient des autobus à piles à combustible à hydrogène pour la société :

- Effets bénéfiques pour la santé d'un STU à zéro émission dans le centre-ville et d'autres quartiers urbains.
- Réduction appréciable de la pollution par le bruit due au remplacement des moteurs à combustion interne par des systèmes de propulsion électrique.
- Élimination complète des émissions de gaz à effet de serre.
- Utilisation possible d'énergies renouvelables (p. ex. solaire, éolienne, géothermique et hydroélectrique) pour produire l'hydrogène.

[1] *Association canadienne du transport urbain, Canadian Transit 2003 Fact Book.*

En 2003, l'ACPCT a décidé d'étudier les dossiers auxquels sont confrontés les STU en ce qui a trait à l'évolution des parcs d'autobus diesel vers les autobus à piles à combustible à hydrogène.

Le Groupe de travail sur les démonstrations de poids lourds de l'ACPCT a établi la nécessité de cette étude. Ce groupe compte des représentants de systèmes de transport urbain, de fabricants d'autobus, de fournisseurs d'équipements et de technologies, de fournisseurs de combustibles et de gouvernements.

Le Groupe a fait remarquer que l'étude devrait non seulement fournir des renseignements sur les STU, mais aussi procurer une base de connaissances pouvant aider l'industrie à cibler les occasions d'affaires qui se présentent au titre de l'emploi de piles à combustible à hydrogène pour le transport urbain.

Bref, les systèmes de transport urbain du Canada offrent :

- un marché attrayant pour la jeune industrie des piles à combustible, qui cherche à commercialiser ses produits;
- une occasion pour les gouvernements de réaliser une grande partie de leurs engagements à réduire les GES;
- une occasion pour le Canada d'être un chef mondial de la transition des transports faisant appel aux piles à combustible.

MÉTHODE ADOPTÉE

Les constations ici présentées découlent de la visite de 16 systèmes de transport urbain au pays, dont certains comptent des zones écologiquement sensibles. Des entrevues en personne et au téléphone ont aussi été faites avec :

- des fabricants d'autobus,
- des fournisseurs du secteur de la technologie de l'hydrogène,
- des établissements de formation technique,
- des experts de l'industrie de l'hydrogène,
- des rédacteurs de codes et de normes,
- des organismes gouvernementaux canadiens et étrangers,
- des responsables de projets de démonstration d'autobus à piles à combustible.

Ces constatations ont été enrichies de données secondaires de diverses sources, notamment des associations industrielles, des organismes gouvernementaux et des analystes industriels.

La méthode utilisée est précisée à l'annexe 1 du rapport détaillé : **http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/ctfca/Publications_f.html**

OBJECTIFS

Cette étude a été menée afin d'établir les défis et les enjeux ainsi que la façon de favoriser l'évolution des STU canadiens vers des autobus à piles à combustible[2].

Plus particulièrement, nous avons examiné :

- le développement de la technologie des piles à combustible pour autobus urbains au Canada et à l'étranger;
- les questions de réglementation touchant tous les ordres de gouvernement (de concert avec le milieu américain de la réglementation);
- une analyse comparative des risques des différentes technologies utilisées pour les transports urbains;
- les spécifications des autobus à pile à combustible;
- les conséquences de la pile à combustible en ce qui a trait aux installations d'exploitation et d'entretien;
- ses conséquences pour l'entretien;
- ses conséquences pour les budgets d'exploitation et de formation;
- l'infrastructure et la technologie du ravitaillement;
- les conséquences pour la chaîne d'approvisionnement;
- la nécessité de communications externes.

[2] *« Autobus à piles à combustible » s'applique à toute sorte d'autobus qui tire la totalité ou une partie de son énergie d'un ensemble de piles à combustible à bord. Les deux principales catégories dont il est question ici sont l'autobus à piles à combustible (une seule source d'énergie) et l'autobus hybride à piles à combustible (un ensemble de piles à combustible et une ou plusieurs autres sources d'énergie).*

PRINCIPALES CONSTATATIONS

L'arrivée de la pile à combustible dans les parcs d'autobus de transport urbain nécessitera la transformation des autobus, des installations, de l'infrastructure de ravitaillement en carburant et un cadre réglementaire. Les principaux coûts pour les STU se rapporteront entre autres à l'acquisition d'autobus et à la modification des installations, ou à la construction de nouvelles installations. Voici le sommaire des principales constatations au sujet des incidences de la transition :

AUTOBUS À PILES À COMBUSTIBLE

- Les fournisseurs de technologies et les fabricants d'autobus prévoient que ces autobus ne seront pas sur le marché avant 2015.
- On prévoit que le nombre et la taille des démonstrations d'autobus urbains à piles à combustible augmenteront pendant la période de transition.
- Sorte de pile : on s'attend que ce sera la pile à membrane à échange direct de protons d'hydrogène (MEP).
- À bord, l'hydrogène sera stocké dans des cylindres haute pression (350 bar ou plus).
- On prévoit que les autobus commerciaux à piles à combustible atteindront ou dépasseront toutes les normes de fonctionnement des autobus diesel.
- On prévoit que les autobus commerciaux à piles à combustible auront une fiabilité égale ou supérieure aux autobus diesel classiques.
- Les système hybrides à piles à combustible combineront une pile à combustible à hydrogène de moindre capacité et un système qui récupère de l'énergie par les freins et un efficace système de stockage de l'énergie; nouvelle technologie prometteuse qui réduit la consommation d'hydrogène sans augmenter le coût du groupe propulseur.
- Il est possible que les autobus hybrides urbains en voie d'élaboration soient mis en vente les premiers.

SYSTÈME DE TRANSPORT URBAIN

- La planification des circuits et des affectations d'autobus ne changera pas à cause de l'entrée en service d'autobus à piles à combustible; il ne faudra pas d'autobus supplémentaires.
- L'entretien des autobus à piles à combustible sera assez différent en ce qui a trait au groupe motopropulseur mais restera identique, dans la plupart des cas, en ce qui a trait à la carrosserie et ses membrures, à la suspension, au châssis, aux roues et aux freins.
- L'éventail de compétences nécessaires à l'entretien d'autobus à piles à combustible ne sera pas très différent, mais il faudra quand même mettre l'accent sur la formation en électricité et en électronique. Il est à prévoir que, d'ici 2015, les effectifs auront évolué et possèderont les compétences nécessaires aux technologies entourant la pile à combustible.
- Les STU devront équiper leurs installations d'entretien de nouveaux outils (p. ex. capteurs à hydrogène et appareils de diagnostic) et remplacer certains outils par d'autres plus spécialisés (p. ex. outils à main anti-étincelles).
- L'importance des changements nécessaires variera selon les installations. Par exemple, celles où l'on entretient déjà des autobus à gaz naturel comprimé (GNC) ne seront pas beaucoup modifiées. Par contre, celles où l'on n'entretient que des autobus diesel devront être modifiées beaucoup plus : dispositions de sécurité, ventilation, éclairage, systèmes de

surveillance et de suppression des incendies. Il faudra peut-être aussi modifier le système d'électricité.

- Un parc d'autobus à piles à combustible nécessitera les mêmes surfaces d'entretien et de stationnement qu'un parc d'autobus diesel.
- Tous les employés des STU devront recevoir un niveau de formation en sécurité de l'hydrogène équivalent à leur formation pour le diesel.
- On prévoit que les différents STU auront besoin d'environ trois années pour préparer la transition à des autobus à piles à combustible.
- D'après des experts de la technologie de l'hydrogène et des transports publics, il est possible que l'utilisation d'hydrogène dans des moteurs à combustion interne constitue une étape préalable à l'arrivée des autobus à piles à combustible. Ce serait l'occasion pour les STU de commencer à utiliser l'hydrogène comme carburant avant d'accueillir des autobus à piles à combustible.

INFRASTRUCTURE DE L'HYDROGÈNE COMME COMBUSTIBLE

- L'hydrogène est actuellement classé comme matière dangereuse, mais son utilisation prochaine comme carburant crée la demande qu'on le classe plutôt comme « combustible ». On prévoit que ce reclassement aura lieu avant l'arrivée sur le marché d'autobus à piles à combustible.
- Le stockage d'hydrogène dans les installations des STU et les activités connexes nécessiteront des procédures semblables à celles de carburants comme le GNC.
- Il est possible que des STU possèdent des installations ne convenant pas à la production d'hydrogène sur les lieux (p. ex. emplacement des installations, manque d'espace).
- La stratégie d'approvisionnement en hydrogène de chaque STU dépendra de plusieurs facteurs, mais en particulier du coût de la matière première : l'électricité dans le cas de l'électrolyse de l'eau et le gaz naturel dans celui du reformage du méthane.
- Les procédures de ravitaillement en hydrogène ne s'écarteront pas beaucoup de celles du diesel, et il ne faudra aucun personnel supplémentaire.

ENVIRONNEMENT RÉGLEMENTAIRE

- En l'absence de normes applicables en particulier aux autobus à piles à combustible ou à leurs composantes, ceux qui circulent déjà ont été autorisés à utiliser comme référence les normes des autobus à gaz naturel comprimé (GNC).
- On s'attend à ce que des codes et normes pour l'hydrogène et les piles à combustible existent avant la vente commerciale d'autobus à piles à combustible.
- On déploie actuellement de grands efforts au Canada, aux États-Unis et ailleurs afin de préparer une solide base scientifique en vue de l'élaboration de normes. Les résultats préliminaires portent à croire que des normes sur les distances sécuritaires minimums acceptables autour des postes de ravitaillement et des lieux de stockage seront prêtes dans quelques années, à temps pour permettre la croissance de l'option « piles à combustible » parmi les STU.

COÛTS

Autobus

- On prévoit que les autobus commerciaux à piles à combustible coûteront environ 1 million de dollars chacun[3], à leur arrivée sur le marché en 2015.
- En d'autres termes, le coût d'achat d'un autobus à piles à combustible dépassera de deux tiers celui d'un autobus diesel.
- Le coût d'achat d'un autobus à pile à combustible sera à peu près le même que celui d'un autobus hybride à piles à combustible.
- Le coût du cycle de vie d'un autobus à piles à combustible sera comparable à celui d'un autobus diesel; celui d'un autobus hybride à piles à combustible sera à peu près 10 p. 100 de moins élevé.
- Le coût annuel de l'entretien d'un autobus à piles à combustible et d'un autobus hybride à piles à combustible sera moins élevé de 15 p. 100 et 21 p. 100 respectivement, que celui d'un autobus urbain diesel.

Carburant

- Les scénarios de comparaison du coût des carburants révèlent que l'hydrogène devrait être moins coûteux que le diesel, notamment dans le cas des autobus hybrides.
- Le prix de l'hydrogène dépend toutefois de celui de la source d'énergie, c'est-à-dire le méthanol, le gaz naturel ou l'électricité.
- Pour les STU qui peuvent accueillir l'équipement nécessaire, le reformage du gaz naturel sur place sera probablement la source d'hydrogène la plus économique. Dans les provinces riches en hydroélectricité comme le Québec, le Manitoba et la Colombie-Britannique, l'électrolyse aussi sera rentable.

Installations et fonctionnement

- La transformation d'installations construites pour des autobus diesel en fonction des normes de l'hydrogène coûtera de 2,1 M $ à 4,2 M $ pour un garage de 250 autobus, tout dépendant de la configuration du bâtiment. Pour la comparaison, pour construire de nouvelles installations pour les autobus à l'hydrogène, il en coûterait de 1,4 M $ à 2,8 M $ de plus que pour des installations d'autobus diesel.
- Selon les estimations, le coût de fonctionnement des installations d'entretien devrait augmenter de 2,70 $/m^3 par année, compte tenu du coût d'équipement de sécurité rendu nécessaire par l'hydrogène (p. ex. capteurs et systèmes de chauffage et de ventilation). Cela revient à 250 $ par autobus par année, soit moins que 0,6 p. 100 des coûts d'entretien totaux.
- Le budget de formation ordinaire suffira pour former le personnel en ce qui a trait à l'hydrogène.
- Le coût de l'élaboration et de l'application de nouvelles procédures tenant compte de l'hydrogène pourra être pris en charge dans le budget de fonctionnement ordinaire.
- Le coût des communications liées à l'entrée en service de la technologie de la pile à combustible pourra être pris en charge dans le budget de relations publiques ordinaire.

[3] *Tous les dollars indiqués dans ce rapport sont des dollars canadiens; ceux donnés pour 2015 sont des dollars de 2015.*

PRINCIPAUX DÉFIS ET ENJEUX

De nombreux dossiers techniques, financiers, politiques et administratifs devront être réglés avant que des autobus à piles à combustible soient offerts commercialement et que les STU commencent à en acheter. Il faut que tous les intervenants relèvent les défis le plus tôt possible pour que les STU canadiens puissent accélérer la transition à des parcs d'autobus à piles à combustible.

ENJEUX TECHNIQUES

- Voir à égaler ou dépasser les paramètres de rendement et de fiabilité des autobus diesel.
- Adapter les technologies actuelles « de démonstration » aux normes adaptées aux STU.
- Augmenter l'efficacité des électrolyseurs et leur capacité de produire de plus grandes quantités d'hydrogène à des prix concurrentiels.
- Réduire la taille des unités de reformage sur place et ajouter le captage du carbone au processus.
- Mettre au point une chaîne d'approvisionnement compétitive pour les STU qui préfèrent acheter leur hydrogène à l'extérieur.
- Commercialiser des réservoirs haute pression et de grande capacité et économiques pour l'hydrogène gazeux.
- Achever la préparation de codes et normes pour l'hydrogène.
- Préparer des programmes de formation pour le personnel technique.

ENJEUX FINANCIERS

- Réduire de 90 p. 100 le prix des systèmes à pile à combustible.[4]
- Réduire le coût final de l'hydrogène pour les autobus urbains en diminuant les frais d'immobilisations des systèmes de production d'hydrogène.
- Pour les STU, tenir compte du déplacement des coûts du fonctionnement à l'achat en concluant de nouveaux accords de partenariat avec leurs bailleurs de fonds.

ENJEUX EN MATIÈRE DE POLITIQUE PUBLIQUE

- Obtenir la collaboration de toutes les administrations publiques pour les STU afin de réaliser les objectifs environnementaux collectifs.
- Trouver et engager les ressources financières nécessaires pour soutenir la pénétration des technologies de l'hydrogène parmi les STU sur plusieurs années.

ENJEUX ADMINISTRATIFS

- Préparer toutes les dimensions des activités des services de transport urbain en vue du passage à des autobus à piles à combustible.
- Obtenir la collaboration des principaux intervenants.
- Assurer des communications efficaces avec tous les intervenants.

[4] *Outre les modules des piles à combustible, le reste du système est formé des composantes suivantes : module d'interface et réseau de canalisations, invertisseur (pour transformer le courant direct en courant alternatif triphasé), dispositif de contrôle de la pile, sous-système d'approvisionnement en air et sous-système de refroidissement.*

CONCLUSION

Les autobus à piles à combustible, qui devraient être sur le marché d'ici 2015, constituent un emploi viable de la technologie de l'hydrogène pour les parcs canadiens de transport urbain.

Il est à prévoir que les autobus à piles à combustible pourront s'acquitter de leurs fonctions de transport urbain avec un rendement et une fiabilité comparables à celles des autobus diesel, ou même meilleures. Le coût d'acquisition d'un autobus à piles à combustible sera plus élevé que celui d'un autobus diesel, mais leurs coûts respectifs sur tout le cycle de vie (acquisition, entretien et carburant) seront comparables.

On ne pourra faire le pont entre la réalité actuelle et ce qui pourrait exister en 2015 que si tous les intervenants saisissent toutes les occasions qui se présentent, en cette conjoncture de l'histoire des systèmes canadiens de transport en commun.

Pour l'industrie des piles à combustible et de l'équipement connexe, le parc canadien d'autobus urbains constitue un marché cible crucial, en fait l'idéal comme premier grand segment, en attendant le mûrissement des autres.

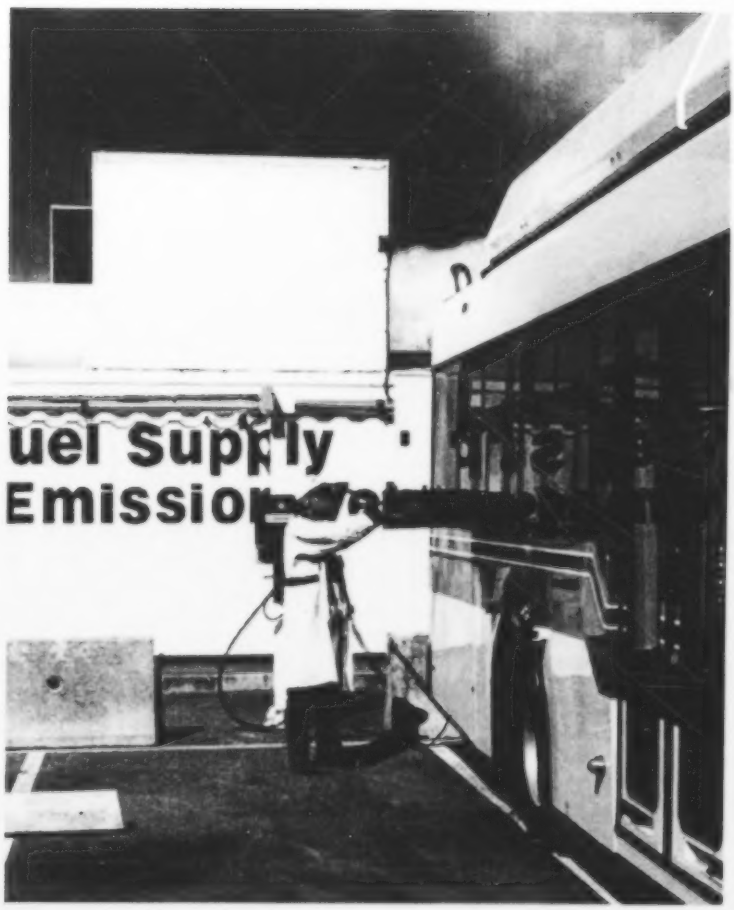
Il sera essentiel, pour réussir au cours des dix prochaines années, que les gouvernements donnent des appuis à tous les niveaux, accélérant ainsi la pénétration des autobus à piles à combustible et la collaboration entre intervenants.

En effet, l'adoption d'autobus à piles par les STU ne pourra pas être réalisée sans plus d'interventions du gouvernement, notamment au titre des coûts de transition. S'il est à prévoir que le coût des autobus à piles à combustible se comparera à celui des autobus diesel sur tout le cycle de vie, leur coût d'acquisition (qui devrait dépasser des deux tiers celui d'un autobus diesel) est plus élevé que ce que la plupart des STU ont les moyens de se payer. De plus, le coût (non répétitif) de l'adaptation des installations, de l'outillage et des équipements dépasse les possibilités des budgets habituels des STU. Le virage vers l'hydrogène est faisable, mais il faudra de nouveaux arrangements avec les partenaires de financement pour que l'aide additionnelle nécessaire aux dépenses d'acquisition soit disponible.[5]

[5] *Au Canada, le gouvernement fédéral n'offre pas d'aide pour l'achat d'autobus urbains. Par contre, aux États-Unis, la Federal Transit Administration du département des Transports peut financer jusqu'à 80 p. 00 du coût d'achat d'autobus urbains. Au Canada, ce sont les partenaires financiers (c.-à-d. la province ou des organismes locaux) qui financent l'achat des autobus des STU. (Source : Manitoba Energy Development Initiative)*

Au bout du compte, ce seront les gouvernements, avec leurs encouragements financiers, leurs politiques, leurs lois et leurs normes de réglementation, qui seront les intervenants les plus cruciaux dans l'accélération de la transition des systèmes canadiens de transport urbain vers les autobus à piles à combustible.

Si le Canada réalise cet objectif en temps opportun, il pourrait être l'un des premiers pays au monde, un innovateur et une source de compétences pour les technologies énergétiques durables. De plus, les autres intervenants canadiens de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible en retireraient un avantage durable sur leurs concurrents du monde entier.



RECOMMANDATIONS

Une transition réussie des systèmes canadiens de transport urbain à des autobus à piles à combustible nécessitera un niveau appréciable de collaboration de la part de tous les groupes d'intervenants.

En effet, chaque intervenant — STU, fabricants d'autobus, fournisseurs de systèmes à piles à combustible, fournisseurs de systèmes de stockage de combustibles, fournisseurs de combustibles et d'équipements de postes de ravitaillement, établissements de formation et gouvernements aura un rôle crucial à jouer. Voici pour chacun une liste d'activités recommandées :

INDUSTRIE CANADIENNE DES STU

Il sera important pour les systèmes de transport urbain de collaborer pour faire avancer la technologie des piles à combustible pour autobus. Les STU pourraient entreprendre plusieurs activités, avant que des autobus à piles à combustible soient sur le marché, pour garantir que la technologie des piles à combustible répondra à leurs besoins opérationnels :

1. Établir avec exactitude leurs coûts actuels de fonctionnement et d'entretien pour pouvoir s'en servir comme données de base pour la transition à la technologie de la pile à combustible.
2. Établir le profil des compétences de ses préposés à l'entretien pour pouvoir s'en servir pour planifier les changements entraînés par l'entretien d'autobus à piles à combustible.
3. Une fois les codes et les normes de l'hydrogène disponibles, examiner les changements à apporter aux installations pour pouvoir exploiter des autobus à piles à combustible.
4. Dans le contexte de l'établissement des plans stratégiques, chaque STU devrait établir si le passage à la pile à combustible nécessitera la construction d'installations à de nouveaux endroits.
5. Évaluer les incidences de l'utilisation de l'hydrogène gazeux sur les programmes de santé et de sécurité des STU.
6. Réexaminer les plans d'intervention d'urgence pour les adapter à l'hydrogène.
7. Étudier l'opportunité de partager des installations de ravitaillement (p. ex. petits STU plus véhicules municipaux).
8. Faire en sorte que l'Association canadienne du transport urbain (ACTU) serve de point de distribution de l'information théorique et de l'expérience sur l'hydrogène et les autobus à piles à combustible.
9. Se servant de l'ACTU comme point de référence, établir pour les STU un centre de connaissances et compétences sur les technologies des carburants de remplacement, en particulier celle de la pile à combustible à hydrogène.
10. Tenir les conseils d'administration des STU au courant des développements de la technologie des piles à combustible, qui sont marquants pour le transport urbain.
11. Commanditer la mise au point d'un modèle des coûts de transition que les STU pourront facilement utiliser pour évaluer leur propre situation lorsqu'ils étudieront le dossier des autobus à piles à combustible.
12. Continuer de participer à des programmes de démonstration à frais partagés.

FABRICANTS D'AUTOBUS

Il est recommandé que les fabricants d'autobus prennent un rôle plus proactif dans l'application des piles à combustible aux autobus urbains. Recommandations particulières :

13. Collaborer avec les fournisseurs de systèmes de pile à combustible.
14. Mettre au point des guides de conception d'autobus pour les fournisseurs de systèmes de piles à combustible.

15. Continuer de participer à des programmes de démonstration à frais partagés.

FOURNISSEURS DE SYSTÈMES DE PILES À COMBUSTIBLE

Recommandations particulières pour les fournisseurs de systèmes à piles à combustible (outre les défis techniques et la réduction du coût) :

16. Coopérer avec tous les intervenants d'industrie afin de rapprocher la date prévue d'existence du marché.
17. Continuer de collaborer avec les fabricants d'autobus en vue de faciliter les possibilités optimales de fabrication des piles à combustible et leur intégration en douceur dans la conception de nouveaux autobus.
18. Mettre au point des programmes de formation sur place des responsables du fonctionnement et de l'entretien des autobus des STU.
19. Étudier l'opportunité de mettre au point des services, des procédures et des prix pour la remise en état des empilades.
20. Continuer de participer à des programmes de démonstration à frais partagés.
21. Considérer l'opportunité de l'adoption croisée de pièces de remplacement afin de standardiser celles-ci.
22. Étudier la possibilité de normaliser complètement l'industrie des piles à combustible afin de simplifier les travaux d'entretien des STU et de réduire les coûts des fournisseurs de piles à combustible.

FOURNISSEURS DE SYSTÈMES DE STOCKAGE D'HYDROGÈNE

Le principal enjeu des fournisseurs de systèmes de stockage est de réduire le poids des cylindres transportés à bord. Autres recommandations particulières :

23. Poursuivre l'élaboration des systèmes de stockage et de ravitaillement à 700 bars.
24. Mettre au point de plus grandes unités pour le stockage sur place et des systèmes transportables pour les fournisseurs d'hydrogène.
25. Collaborer avec les fabricants d'autobus à la conception du stockage à bord.
26. Continuer de participer à des programmes de démonstration à frais partagés.

FOURNISSEURS D'HYDROGÈNE ET DE SYSTÈMES DE RAVITAILLEMENT

Recommandations particulières pour les fournisseurs d'hydrogène et de systèmes de ravitaillement (outre la solution des problèmes techniques) :

27. Évaluer la future demande en hydrogène pour les transports en commun et planifier l'expansion des unités centrales de production afin de répondre à l'accroissement prévu de la demande des STU.
28. Cerner la possibilité d'approvisionner par gazoduc et la possibilité de recouvrer d'autres produits secondaires.
29. Déterminer les endroits où les installations de ravitaillement pourraient être partagées (p. ex. un petit STU et la municipalité, pour ses véhicules).
30. Fournir à l'Association canadienne d'éducateurs en force motrice (ACEFM) de l'information sur l'intégration de la formation sur l'hydrogène aux programmes d'apprentissage et d'obtention de permis.
31. Continuer de participer à l'élaboration de normes et codes pour l'hydrogène.
32. Continuer de participer à des programmes de démonstration à frais partagés.
33. Acquérir, examiner et mettre en commun les données de rendement des projets de démonstration.

ÉTABLISSEMENTS DE FORMATION

Les établissements de formation devront accomplir de nombreuses tâches au cours des prochaines années. Recommandations particulières :

34. Coordonner les programmes d'apprentissage provinciaux et interprovinciaux qui ont trait à la formation des gens de métier dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible (p. ex. par l'intermédiaire de l'ACEFM).
35. Recourir à un organisme central de formation et d'accréditation en matière d'hydrogène et de piles à combustible.
36. Intégrer la formation sur l'hydrogène et les piles à combustible aux programmes actuels d'apprentissage et de permis, plutôt que d'en créer de nouveaux.
37. Réviser les programmes de formation en matières dangereuses offerte aux techniciens par les commissaires provinciaux aux incendies.
38. Collaborer avec les États-Unis à la création de programmes normalisés de sécurité hydrogène pour l'Amérique du nord.
39. Préparer des programmes de formation pour les interventions d'urgence liées à l'hydrogène et aux piles à combustible.

GOUVERNEMENTS

Les gouvernements ont un rôle crucial à jouer en ce qui a trait à l'avenir des industries des piles à combustible et des transports urbains. Recommandations particulières :

40. Étudier l'opportunité d'encourager, par voie législative, l'application commerciale des technologies des piles à combustible.
41. Continuer de mettre au point des stratégies de financement appropriées pour soutenir la transition aux applications à pile à combustible à hydrogène en offrant :
    - des encouragements à l'acquisition d'autobus,
    - des encouragements à la construction ou la conversion d'installations (dont des postes de ravitaillement),
    - des encouragements axés sur l'éducation afin de faciliter l'adoption des piles à combustible.
42. Continuer de participer à des programmes de démonstration à frais partagés dans le domaine de l'hydrogène.
43. Achever l'évaluation de la comparaison de tous les coûts et avantages des autobus à piles à combustible par rapport à ceux des autobus diesel, tenant notamment compte des coûts sociaux comme la pollution de l'air, le bruit et les émissions de GES.
44. Mettre au point la réglementation et les processus d'enregistrement des autobus à piles à combustible.
45. Poursuivre l'élaboration de normes réglementaires pour les véhicules, les installations connexes et les systèmes de ravitaillement sous l'angle de l'hydrogène et de la technologie des piles à combustible.
46. Examiner les règlements provinciaux et territoriaux sur la santé et la sécurité afin d'établir les répercussions de l'arrivée de l'hydrogène en milieu de travail.
47. Accroître la quantité et le niveau de l'information donnée à différents publics (p. ex. grand public, médias, compagnies d'assurance et groupements syndicaux) afin de les sensibiliser davantage.
48. Évaluer dans quelle mesure l'utilisation de la technologie des piles à combustible dans les transports urbains a la faveur du public canadien et continuer de surveiller cet aspect.
49. Élaborer une stratégie nationale d'encouragement visant à accélérer la commercialisation au Canada de véhicules lourds à pile.
50. Appliquer des politiques nettes et claires pour les zones écologiquement sensibles et aux petits STU de façon à encourager l'acquisition hâtive de parcs d'autobus à pile à combustible.

ANNEXE 1

LA TECHNOLOGIE DES PILES À COMBUSTIBLE

COMMENT FONCTIONNE UNE PILE À COMBUSTIBLE

Voici une explication non technique du fonctionnement d'une pile à membrane à échange de protons (MEP).

PILE À COMBUSTIBLE À MEMBRANE ÉCHANGEUSE DE PROTONS (PCMEP)

La pile à combustible à MEP fonctionne à une température relativement basse, ce qui signifie qu'elle se réchauffe rapidement et n'exige aucune structure de confinement coûteuse. Cette sorte de pile utilise typiquement le platine comme catalyseur. De constantes améliorations des techniques et des matériaux ont permis d'accroître la densité de puissance à un tel point qu'un appareil à peu près de la taille d'une petite valise peut mouvoir une voiture. Leur cyclabilité est aussi un de leurs grands avantages. Cette technologie est la plus prometteuse pour les applications de transport.

FONCTIONNEMENT D'UNE PILE À COMBUSTIBLE

Une pile à combustible est un dispositif qui transforme de l'énergie chimique en de l'énergie électrique. De l'hydrogène (tiré d'un de plusieurs combustibles carboniques dont le méthanol, le gaz naturel, le pétrole ou une énergie renouvelable) est combiné avec de l'oxygène (tiré de l'air) au sein de la pile, celle-ci produisant électrochimiquement de l'électricité, de l'eau et de la chaleur.

Au cœur de la pile à combustible se trouvent généralement trois principaux éléments : une anode, une cathode et de l'électrolyte. Le courant électrique passe de la cathode à l'anode. Ce sont les matières dont la pile est composée qui déterminent la façon dont celle-ci produit de l'électricité.

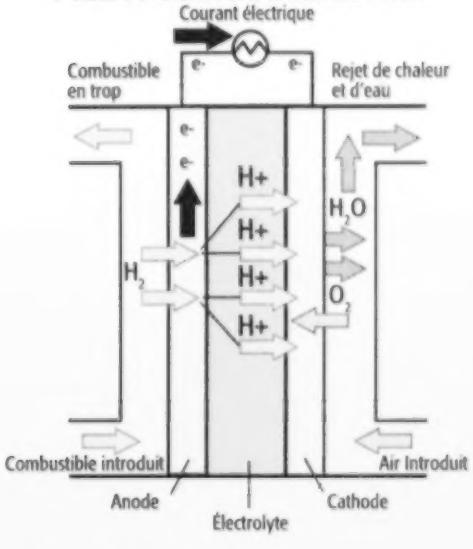
La pile typique

Dans une typique pile à combustible à MEP, les protons d'hydrogène migrent de l'anode à la cathode par l'entremise de l'électrolyte Le revêtement de platine de l'anode est un catalyseur, aidant à scinder les molécules d'hydrogène en des protons (positifs) et des électrons (négatifs). La membrane électrolytique permet aux protons seulement d'atteindre la cathode. Se voyant le passage interdit, les électrons s'écoulent vers la cathode par un circuit externe, créant ainsi un flux d'électricité. Par ailleurs, l'oxygène dont est approvisionnée la cathode se combine avec les protons pour former de l'eau.

Empilades

Typiquement, des piles à combustible sont mises en « empilades », le nombre de piles déterminant la tension totale. C'est la surface de la pile qui détermine la quantité de courant. On obtient la quantité totale d'électricité produite en multipliant la tension par le courant produit; le résultat est normalement mesuré en kilowatts (KW).

PILE À COMBUSTIBLE MEP



Réaction à l'anode : $H_2O = 2H^+ + 2e^-$

Réaction à la cathode : $O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$

Reste de l'installation

Pour produire de l'électricité utilisable à l'aide d'une pile à combustible, il faut plus que juste une empilade d'éléments; il faut par exemple des appareils pour contrôler des fonctions comme : l'injection des gaz combustibles, la gestion d'un équilibre H_2O (crucial), le conditionnement de l'énergie produite et la surveillance et le contrôle de tous les paramètres du système (p. ex. température et pression). Sans un tel système de soutien, la pile à combustible ne peut produire de l'électricité utilisable.

ANNEXE II

COÛTS DES CYCLES DE VIE D'AUTOBUS

Tableau 1 : Coûts de cycles de vie d'autobus en dollars de 2015

ÉLÉMENTS DE COÛT DU CYCLE DE VIE	250 AUTOBUS SUR 18 ANNÉES	
Coût d'acquisition	Diesel	150 096 770 $
	Pile à combustible	250 300 279 $
	Hybride	251 403 664 $
Coût de fonctionnement		
Coût d'entretien		
	Diesel	236 704 005 $
	Pile à combustible	200 714 570 $
	Hybride	186 199 881 $
Coût du carburant		
(Diesel @ 1,05 $/l)	Diesel	155 521 825 $
(Hydrogène @ 3,47 $/kg)	Pile à combustible	91 672 162 $
(Hydrogène @ 3,47 $/kg)	Hybride	60 503 627 $
Coût total		
	Diesel	**542 332 600 $**
	Pile à combustible	**542 687 012 $**
	Hybride	**498 107 172 $**

Coût du cycle de vie de chaque autobus :

- Diesel 2 169 290 $
- Pile à combustible 2 170 748 $
- Hybride électrique/pile 1 992 429 $

Les prévisions ci-dessus s'appliquent à un garage de 250 autobus. Les coûts liés à des parcs de plus grande ou de moindre envergure varieraient donc au total, mais seraient proportionnellement les mêmes. Le coût du cycle de vie ne comprend pas ceux des installations.

Tous les coûts sont exprimés en dollars de 2015.

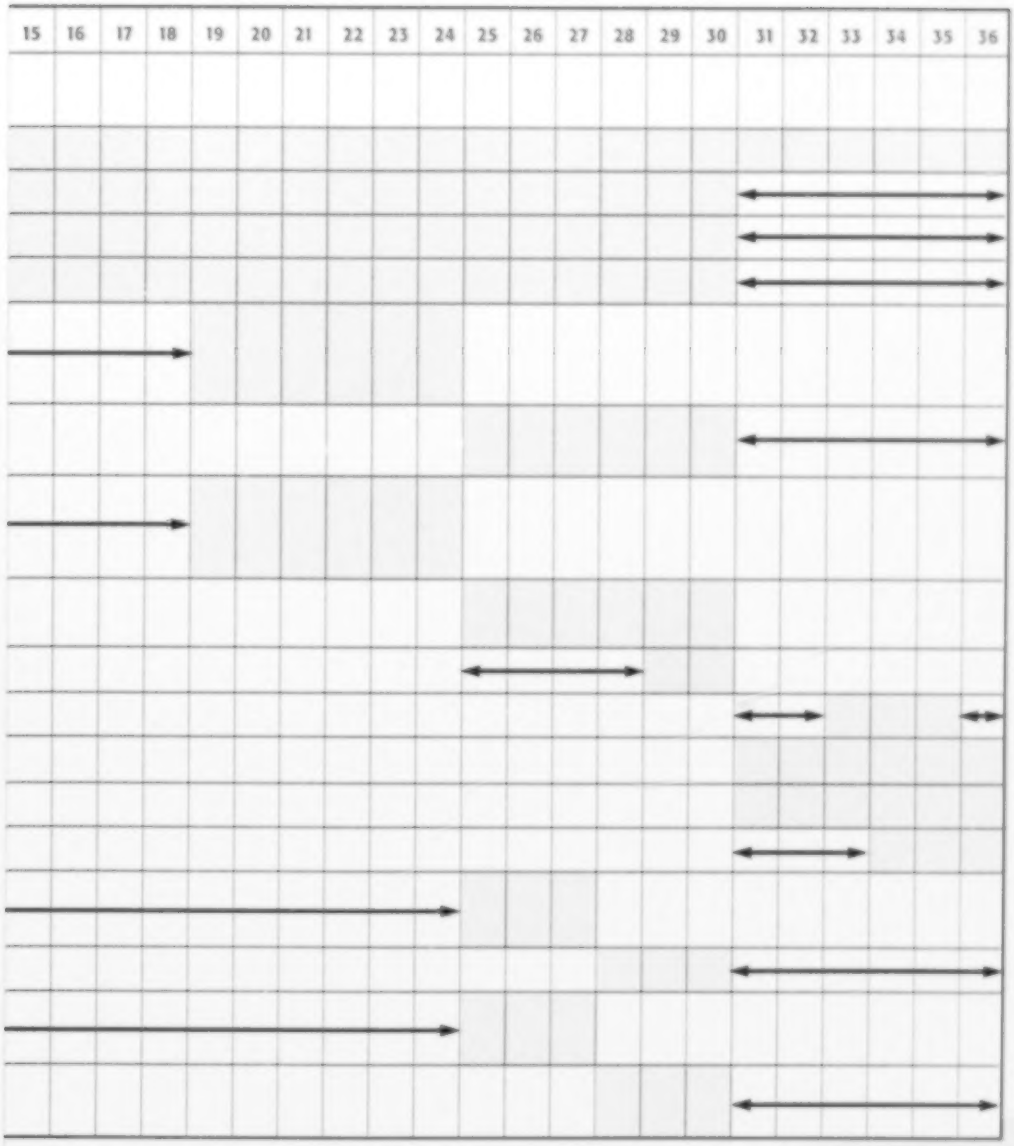
Le coût de chaque sorte d'autobus sur son cycle de vie dépend du coût du combustible utilisé. Dans le tableau ci-dessus, on se sert d'une estimation des prix moyens des combustibles en 2015. Pour de plus amples précisions sur les coûts possibles, voir les sections 5 à 7 du rapport détaillé (Summary of Costs) : **http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/ctfca/Publications_f.html**

ANNEXE III

CALENDRIER DE LA TRANSITION

Tableau 2 : Calendrier de la transition

MOIS :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Définition des exigences et processus d'approbation des projets projet														
Attribution du contrat et livraison des autobus														
Conception de la modif. des install.; contrat; construction														
Conception du install. de ravitaillement; contrat; construction														
Conception de nouvelles Install.; contrat; construction														
Négociations avec unités de négociation appropriées pour régler toute question de perturbation des employés							←							
Élaboration du programme de formation technique des employés														
Élaboration et rédaction de politiques (santé, sécurité et environnement) applicables à l'hydrogène et aux piles													←	
Élaboration d'un programme de formation – santé, sécurité et environnement														
Programme de formation des formateurs														
Formation, personnel de supervision et de gestion														
Formation des techniciens														
Formation du personnel d'entretien des installations														
Formation des préposés à l'entretien														
Élaboration d'un programme d'éducation – communications, intervenants internes													←	
Éducation – communications, intervenants internes														
Éducation – communications, intervenants externes													←	
Éducation – communications, intervenants externes														



N.B. : Les flèches dénotent de la souplesse dans l'ordonnancement de l'activité, indiquant les débuts les plus précoces et les fins les plus tardives. En l'absence d'une flèche, l'activité ne devrait pas commencer avant ou se poursuivre après le moment indiqué, selon le cas. Évidemment, l'exactitude des estimations ci-dessus variera suivant les circonstances de chaque système de transport urbain, notamment la mesure dans laquelle il est prêt à passer à l'hydrogène. Pour les systèmes de petite taille, les périodes indiquées pourraient être sensiblement plus courtes. La séquence des activités pourrait aussi varier d'un STU à l'autre. Cependant, toutes les activités devront être réalisées avant l'entrée en service payant des autobus à piles à combustible. Enfin, chaque programme de formation devra inclure toutes les considérations de santé, de sécurité et environnementales applicables au niveau de la personne à former.